

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-21732

(P2000-21732A)

(43) 公開日 平成12年1月21日 (2000.1.21)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マコ-ト* (参考)

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 4 Z

5 F 0 4 6

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 0 2 V

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平10-187624

(22) 出願日

平成10年7月2日 (1998.7.2)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 佐藤 和也

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 田中 聡

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

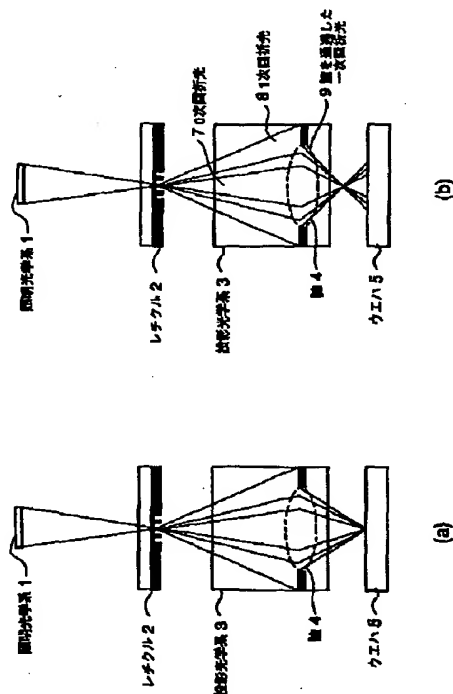
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置の検査方法

(57) 【要約】

【課題】 露光装置を分解せずに簡便かつ迅速に検査する。

【解決手段】 光源と、該光源から射出される光をフォトマスクに導く照明光学系1と、該フォトマスクの縮小投影像をウェハ5上に転写する投影光学系3から構成される露光装置の光源形状と、投影光学系3の瞳4の形状と、該光源形状と瞳4の形状との同心度を検査する露光装置の検査方法において、光源から射出される光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された格子パターンを含むレチクル2に照射し、レチクル2を通過した1次以上の回折光を投影光学系3の瞳4の外縁に照射させ、かつデフォーカス状態でレチクル2のパターン像をウェハ5上に露光する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源と、該光源から射出される光をフォトマスクに導く照明光学系と、該フォトマスクの縮小投影像をウェハ上に転写する投影光学系とから構成される露光装置に対し、前記光源形状と、前記投影光学系の瞳形状と、該光源形状と瞳形状との同心度を検査する露光装置の検査方法において、

前記光源から射出される光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含む光学部材に照射し、該光学部材を通過した1次以上の回折光を前記投影光学系の瞳外縁に照射させ、かつデフォーカス状態で前記光学部材のパターン像を前記ウェハ上に露光することを特徴とする露光装置の検査方法。

【請求項2】 前記光学部材は、前記フォトマスクの倍率をM、露光波長を λ 、前記投影光学系のウェハ側の開口数をNA、前記照明光学系のコヒーレンスファクタを σ としたとき、 $M\lambda / \{ (1 + \sigma) \times NA \} < p < M\lambda / \{ (1 - \sigma) \times NA \}$ なる周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含むことを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項3】 前記デフォーカスは、前記光学部材又は前記ウェハの少なくとも一方の位置をフォーカス位置から移動させることにより実現することを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項4】 前記デフォーカスは、パターン露光に用いるフォトマスクの遮光部の配置された表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現することを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項5】 前記光学部材の遮光部は半透明膜であり、前記透光部を通過する光と前記半透明膜を通過する光の位相差が 180° に設定されてなることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項6】 前記光学部材の前記遮光部のパターン幅が前記透光部のパターン幅に対して広く設定されてなることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置の検査方法に関するもので、特に露光装置の光源形状と投影光学系の瞳形状の測定、及び照明光学系と投影光学系の軸ずれの測定に用いられるものである。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの回路パターンの製造には、一般にリソグラフィ技術と呼ばれる工程が必要である。この工程に使用される投影露光装置では、光源から射出した光は照明光学系に入射し、照明光学系はレチクルをほぼ均一な照度で照らす。レチクルを通過した光は投影光学系を経て、感光基板上にレチクル上の回路パタ

ーンを結像投影する。

【0003】露光装置の一括露光する面積の増大に伴って、露光領域内の場所によってパターン形成に差が現れること、すなわちショット内の寸法ばらつきの問題が生じる。その要因の一つとして、照明光学系の有効な大きさを表すコヒーレンスファクタ(σ)の、一括露光領域内での形状・光強度の変動が挙げられる。この場合、レチクルを照らす光強度と向きが場所により変化する。 σ は像のコントラストを支配するパラメータであるので、 σ の上記の変動はすなわち露光性能の一括露光領域内での変動を意味する。

【0004】この本発明の対象とする露光装置の全体構成を図11に示す。図11(a)に示すように一般的な露光装置は、照明光学系1・レチクル2・投影光学系3・ウェハ5が、光学的に一直線上に配置された共軸光学系である。しかしながら、共軸光学系であるというのは、あくまで設計上の話である。実際には、製作上の誤差のために、個々のレンズが基準の軸からさまざまな方向にずれている可能性がある。もし、照明光学系1'と投影光学系3の軸が共通でない場合、レチクル2を通過した回折光は、全体として斜めに投影光学系3に入射することになる。この場合、本来図11(a)に示すようにウェハ5の位置が5'の位置にデフォーカスしても変わらないはずの像の位置が、図11(b)に示すように、デフォーカスによってパターンの位置が移動するという現象が起きる。

【0005】以上のように、 σ と光強度の一括露光領域内での変動、および照明光学系と投影光学系の軸の不一致は、ともに正しいパターンの形成に必要な露光量の余裕度、および焦点深度を狭める。その結果、リソグラフィ技術による微細な回路パターンの形成を困難にし、半導体デバイス製造の歩留まり低下につながる。これを避けるために、露光装置の σ の検査及び調整と、照明光学系・投影光学系の光軸の相対位置ずれの検査および調整が必要となる。

【0006】露光装置を分解して、内部に干渉計や写真機等の測定装置を据え付ける手法を用いれば、高精度の測定をすることが可能である。しかし、装置を分解することにより装置の状態が運転時とは変わってしまい、また手間がかかるという問題がある。このような理由から、装置を分解しないで実行できる簡便な検査方法が要求される。

【0007】次に、Texas Instruments Inc.のC.Proglerが行った露光装置を分解せずに露光装置を検査する方法(SPIE Vol.3051, pp.660-671)を図12を用いて以下説明する。まず、レチクルの裏面に図12(a)及び(b)に示す手法により2種のパターンを形成する。これらのパターンは同じレチクル上に形成するか、あるいは別々のレチクル上に形成する。図12(a)に示すパターンは、遮光領域の中に孤立した透光領域(透光孤立

10

20

30

40

50

ホール121)の配置されたパターンであり、図12(b)に示すパターンは、透光領域の中に孤立した遮光領域(遮光孤立ドット122)が配置されたパターンである。

【0008】透光孤立ホール121の大きさが小さいほど、ホール121を通過する光123の回折角が大きくなる。この現象を利用し、ホール121のサイズを調節して回折光が投影光学系の瞳4の外縁を含む全面を照らすようにする。これに対して、遮光孤立ドット122のサイズは回折現象が目立たない程度の大きめのサイズにする。まず、透光孤立ホール121を露光する。孤立ホール121で回折した光が投影系レンズの瞳4の全面を照射する。瞳4を通過した光は露光領域125を形成する。次に、ウェハをそのまま動かさずにレチクル2を操作し、直前に孤立ホール121があった場所に、遮光孤立ドット122を置いて露光する。このパターンは、図12(a)の透光孤立ホール121の透過部と遮光部を入れ替えたもので、ウェハ5に転写される像も明部と暗部が反転する。遮光部が十分に大きく、回折の影響が少ないので、ウェハ5上には光源の像128(光源の大きさ σ を表す像)が浮き彫りになる。またこのときに、露光量を微量にして、レチクル2上にパターンがない部位のフォトリソの現像状態を、膜減りの状態で止まる程度にする。この二重露光の後に現像を行うと、図12(c)に示す形状のフォトリソパターンが得られる。これにより、光源の形状129と、投影光学系の瞳の形状130、及び光源の形状129と瞳の形状130との間の位置ずれ量が測定できる。

【0009】しかしながら、彼らの方法によると以下の問題点が生ずる。第一に、上記の二重露光のうち一回目で、単独のピンホールを用いて投影光学系の瞳全体を照らす回折光を発生させている。このような現象を起こすためには、ピンホールサイズを極端に小さくする必要がある。例えば、直径 d の円形のピンホールの回折光は、同心円状の光強度分布を持ち、中央の光強度が最も大きい。点光源の場合、 λ を光の波長とし、投影光学系の開口数を NA 、レチクルの倍率を M としたとき、投影光学系の瞳における回折光のエネルギーは、Airy Diskと呼ばれる、半径 R が(1)式で表される円盤状の領域に集中する。

【0010】

$$R = 0.61M\lambda / (NA \cdot d) \quad (1)$$

(1)式で、座標系を、瞳の中心を原点とし、原点から瞳の縁までの距離を1とした。光源が大きさ σ を持つ場合は、この円盤領域の半径 R' は、(2)式で表される。

【0011】

$$R' = 0.61M\lambda / (NA \cdot d) + \sigma \quad (2)$$

回折光を利用して瞳の形状を観測するためには、投影光学系の瞳の全域にわたって、フォトリソが感光する

しきい値以上の光強度が保たなければならない。そこで、瞳全体が、(2)式で表される領域に入っている場合、すなわち、 $R' > 1$ の場合を考える。典型的な値として $\lambda = 0.248 \mu m$ 、 $NA = 0.6$ 、 $M = 0.4$ 、 $\sigma = 0.75$ とすると、この条件を満たすピンホール直径 d は、 $4.0 \mu m$ 以下となる。

【0012】レチクルの裏面に存在するこのサイズのピンホールを、実際に露光しようとする、ピンホールを通過してウェハに到達する光は非常に弱く、所望のパターンを得るには非常に長い時間がかかる。ピンホールのサイズをこれより大きくすると、ピンホールを通過する光の全体量は増加するが、投影光学系の瞳の端での強度はかえって低下し、目的は達成されない。

【0013】第二に、膜減りの観測は、コントラストのわずかな違いを見分ける必要がある。従って、瞳の大きさを表す像の形状の判断にはコンピュータを用いた画像処理が必要である。

【0014】第三に、二重露光する際に合わせずれの誤差が入ってしまう。位置ずれ量の測定値はこの誤差を含んだものとなる。第四に、一回目、二回目の露光両方について、膜減り状態を作り出す必要があるため、露光量の調節が極めて微妙なものになる。以上のように、従来の検査方法では、露光装置を分解しないで測定するという問題は解決しているが、簡便な方法とは言い難いものであった。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】上述したように従来の露光装置の検査方法では、露光装置を分解して、装置内部に測定装置を据え付ければ高精度の測定が可能となるが、手間がかかり、また装置を分解することにより装置の状態が運転時とは変わってしまう。

【0016】また、この問題点を解決すべく、2種のパターンをレチクルの裏面に形成し、これら2種のパターンを露光して膜減りの状態でパターンを形成し、この2重露光によりできあがったパターンから、光源を表す像の形状と投影光学系の瞳を表す像の形状と、それぞれの中心軸の相対位置を求める検査方法が考案されている。しかしながら、この方法では、投影レンズ全体を照らす回折光を発生させるべくピンホールサイズを極端に小さくしなければならず、またこのピンホールサイズを通過した光は、強度が非常に弱くなる。また、膜減りの観測は、コントラストのわずかな違いを見分ける必要がある。さらに、二重露光する際に合わせずれの誤差が入る恐れがあり、また膜減り状態を作り出すためには露光量の調節が極めて微妙となる。

【0017】本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、露光装置を分解せずに簡便かつ迅速に検査することができる露光装置の検査方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明に係る露光装置の検査方法は、光源と、該光源から射出される光をフォトマスクに導く照明光学系と、該フォトマスクの縮小投影像をウェハ上に転写する投影光学系から構成される露光装置の前記光源形状と、前記投影光学系の瞳形状と、該光源形状と瞳形状との同心度を検査する露光装置の検査方法において、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含む光学部材を通過した1次以上の回折光が前記投影光学系の瞳外縁に照射するように前記格子パターンの周期を設定し、かつ前記ウェハ上に転写されるパターン像をデフォーカスさせて露光することを特徴とする。

【0019】ここで、光学部材の周期パターンには、ライン&スペースパターン、遮光部に孤立した方形パターンをマトリクス状に配置した透光部を持つ格子パターン、遮光部に孤立した円形パターンをマトリクス状に配置した透光部を持つホールパターン、市松格子状のパターン、これら種々のパターンの透光部と遮光部を反転させたパターンを含む。

【0020】本発明の望ましい形態を以下に示す。

(1) 光学部材は、フォトマスクの倍率をM、露光波長を λ 、投影光学系のウェハ側の開口数をNA、照明光学系のコヒーレンスファクタを σ としたとき、 $M\lambda / \{ (1 + \sigma) \times NA \} < p < M\lambda / \{ (1 - \sigma) \times NA \}$ なる周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含む。

(2) 光学部材が市松格子状のパターンの場合、フォトマスクの倍率をM、露光波長を λ 、投影光学系のウェハ側の開口数をNA、照明光学系のコヒーレンスファクタを σ としたとき、 $2^{1/2} M\lambda / \{ (1 + \sigma) \times NA \} < p < 2^{1/2} M\lambda / \{ (1 - \sigma) \times NA \}$ なる周期で透光部と遮光部が繰り返された有限周期の周期パターンを含む光学部材を用いる。

(3) デフォーカスは、光学部材又はウェハの少なくとも一方の位置をフォーカス位置から移動させることにより実現する。

(4) デフォーカスは、パターン露光に用いるフォトマスクの遮光部の配置された表面とは反対側の表面に、光学部材の透光部を配置することにより実現する。

(5) 光学部材の透光部は半透明膜であり、透光部を通過する光と半透明膜を通過する光の位相差が 180° に設定されてなる。

(6) 光学部材の遮光部のパターン幅が透光部のパターン幅に対して広く設定されてなる。

【0021】(作用) 本発明では、露光装置の検査方法として、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含む光学部材又はウェハをデフォーカスさせてウェハ上に光学部材の像を露光する。この周期パターンを露光することにより、0次回折光のみならず、1次以上の回折光を発生させることができる。

【0022】また、1次以上の回折光が投影光学系の瞳外縁に照射するように露光するので、0次回折光により光源の形状を、1次以上の回折光により瞳の形状を観測することができ、かつこれら光源及び瞳の形状の双方を一回の露光で露光装置を分解することなく通常の露光時と同じ状態で簡便に測定することができる。従って、従来の二重露光を用いる方法のように光源の形状と瞳の形状を二種類の光学部材を入れ替えてそれぞれの光学部材について露光する手間が省ける。

【0023】また、光源形状と瞳形状はフォトレジストに重ねて描画されるので、それらのずれによる同心度も合わせずれなどによる測定誤差が生じることなく高精度で測定できる。

【0024】また、孤立点を用いてパターンを形成する従来の方法と異なり周期的なパターンを用いて1次以上の回折光を発生させているので、瞳の像の縁を際立たせる働きをする光強度が大きく、露光時間が短くてすむ。また、高コントラストの像が得られるため、画像処理の必要がない。従って、測定のために特別な装置構成は必要としない。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

(第1実施形態) 図1及び図2は本発明の第1実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、ArFエキシマレーザ露光装置(λ : 193nm, NA: 0.55, σ : 0.6, M: 20)を用いて検査を行う場合を示す。

【0026】図1は本実施形態に係る検査の対象とする露光装置の構成を示す図である。図1に示すように、この露光装置は光源から射出される光をレチクル2に導く照明光学系1と、レチクル2の縮小投影像をウェハ5上に転写する投影光学系3から構成される。なお、図1

(a)はフォーカス位置にレチクル2を配置した場合、図1(b)はレチクル2を上方にデフォーカスさせた場合を示す。

【0027】図2は検査方法に用いるレチクル2の具体的なパターンを示す平面図である。レチクル2は遮光領域21と透光領域22からなり、周囲が遮光領域21である1辺 $200\mu\text{m}$ の正方形の透光領域22を、格子状にレチクル2上に描くことにより回折パターンを構成する。この回折パターンの周期を $5.5\mu\text{m}$ とし、遮光部と透光部のパターン幅の比を3:2とする。

【0028】このレチクル2上のパターン面を、投影光学系3に関してウェハ5と共役である通常のレチクル2表面の位置から光源側に5cm移動した位置に配置し、デフォーカス状態で露光を実施する。露光量は通常の20倍とし、感光材としてポジ型のフォトレジストを用いる。フォトレジストを塗布したウェハ5を、通常パターン露光すべき位置に配置する。露光の後に現像を行い、

10

20

30

40

50

所望のレジストパターンを得る。

【0029】この作成されたレジストパターンの平面図を図3に示す。図3(a)はレジストパターン31を示す平面図であり、図3(b)はレジストパターン31におけるパターン形状を模式的に表した図である。図3(a)に示すようにこのレジストパターン31は、ウェハ5上寸法で横3mm×縦3mmの一括露光領域内で、像同士が重ならない間隔をおいて80点用意されており、通常の光学顕微鏡を用いて測定する。0次回折光の照射された中央部32はレジストが全てなくなっている。この中央部32の輪郭33は光源の大きさ σ を表す像の形状(以下、単に光源の形状と呼ぶ)を表す。この中央部32の周囲に形成された周辺部34は1次回折光が当たった領域で、ここではフォトレジストの表面のみがなくなり、薄くなっている。さらに周辺部34の外側の領域の斜線で示す部分はフォトレジストが残っている部分である。周辺部34の外縁をなぞる円は、投影光学系の瞳(以下、単に瞳と呼ぶ)の形状を表している。この場合、光源の中心36(光源の大きさ σ を表す円形の像の中心)と、瞳の中心37(瞳の大きさNAを表す円形の像の中心)との間にずれはないことが分かる。

【0030】このように光源の形状と瞳の形状、光源と瞳の同心度を検査する原理を以下説明する。孤立したホールパターンの中に、周期的な回折パターンがなければ、従来技術に示す図12(a)のピンホールカメラと同じになり、ウェハ上に転写される像は光源の像(光源の出口の光強度分布)のみである。ピンホールカメラの分解能はピンホールのサイズにより規定されるので、回折現象が目立たない範囲でピンホールのサイズを小さくすれば、光源の形状をより忠実に投影することができる。反面、投影に必要な露光量が増大する。ホールサイズとして、一辺が50 μm ~500 μm の正方形か、または、直径が50~500 μm の円にすれば、露光量は通常使用される値の10~20倍程度で十分であり、これは実現可能な値である。

【0031】瞳の形状と位置を測定するために、孤立した透光領域内(あるいは遮光部と透光部を入れ替えた場合には、孤立した遮光領域内)に、周期的な格子状のパターンを配置する。周期が十分に小さければ、図1に示すとおり、このパターンは光の回折を引き起こし、0次回折光7と1次回折光8が生じる。0次回折光7は、格子パターンを通過しても直進する回折光成分で、最も強度が大きい。1次回折光8は光軸から遠ざかる方向に進み、投影光学系3の瞳4の縁の近辺を照らす。1次回折光の中で瞳4の内側、すなわちNAに到達した光9はウェハ5に達するが、瞳4の外側に到達した1次回折光8は遮蔽され、ウェハ5に達しない。つまり、瞳を通過した光がウェハ5上にパターンを形成することになり、パターン形成する／しないの境界線が瞳の縁の形状を表す。この1次回折光8の境界から、瞳の形状と位置が求

められる。また各回折光は、それぞれが光源の像であるので、0次回折光7から光源の中心と位置が分かる。すなわち、ウェハ5にレジストパターンとして転写される像から、一括露光領域内の任意の点における、実効的な瞳と光源の形状と大きさ、その二つの相対位置が分かる。また、位置ずれ量を測定することで、露光装置の照明及び投影光学系3の間の軸ずれ量が決定される。なお、これら瞳及び光源の形状と大きさの測定を可能にすべく、レチクル2上のパターンをウェハ5上に投影結像させずにそのパターン像を十分な大きさを持ってウェハ5上に描く。具体的には、図1(a)のフォーカス位置に置いたレチクル2を図1(b)に示すように上方にデフォーカスさせて露光を行う。このデフォーカスは、レチクル2を移動させるのみならず、ウェハ5を移動させ、あるいはレチクル2とウェハ5の双方を移動させてもよい。

【0032】次に、回折パターンの周期が限定される理由を図4を用いて説明する。図4は回折パターンがウェハ5上に転写される位置を示す図である。図4(a)に示すように、投影光学系3の瞳4の大きさ41を、NAで規格化した量で表すと、各回折光は光源形状と同じであり、回折光の半径42は σ で表される。また、周期pの周期的回折パターンによる回折を考えると、回折光間の距離43は $\lambda / (p \times NA)$ で表される。瞳の形状と位置をウェハ5上に投影させるには、1次回折光8が照射される1次回折パターン44が瞳の縁35と交わっている必要がある。すなわち、図4(b)のように1次回折光8が完全に瞳の中に入ってしまったか、逆に図4

(c)のように1次回折光8が完全に瞳の外に出てしまったかすると、瞳の位置を観測することができない。ウェハ5上に瞳の像が形成されるための条件は、レチクル2の倍率をM、露光波長を λ とすると、レチクル2上の回折パターンの周期pが次式を満たす場合である。

$$【0033】 M\lambda / \{ (1 + \sigma) \times NA \} < p < M\lambda / \{ (1 - \sigma) \times NA \}$$

この式の左側の不等式は、1次回折光8の全てが瞳の縁35からはみ出ない条件、右側の不等式は、1次回折光8が瞳の縁35に完全に入りきらない条件である。

【0034】(第2実施形態)図5及び図6は本発明の第2実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態は、第1実施形態における検査方法で用いたレチクル2のパターンをライン&スペースパターンに適用する。また、KrFエキシマレーザ露光装置(λ : 0.248nm, NA: 0.6, σ : 0.3, M: 4)を用いて検査を行う場合を示す。以下の実施形態において第1実施形態と共通する部分は説明を省略する。

【0035】周囲が遮光領域51a~54aで、1辺80 μm の正方形のレチクル51~54に、ライン状の透光領域51b~54bを設けて遮光部:透光部=1:1

のライン&スペースパターンとなるパターンをレチクル51～54裏面に描画する。ライン&スペースパターンの周期は $1.6\mu\text{m}$ 、 $1.8\mu\text{m}$ 、 $2.0\mu\text{m}$ 、 $2.2\mu\text{m}$ の4種類とし、また、ライン&スペースパターンの向きを変えて、それぞれのレチクル51～54について4種類作成する。それら16種類のパターンを、像同士が重ならないように少なくとも5mmの間隔を置いて、一括露光領域内に複数配置する。そして、この16種類のパターンを含むレチクル51～54の遮光部が設けられた面を、通常のパターン露光に用いるフォトマスクの遮光部が設けられた面とは表裏反対側の面に装着して露光を行う。このように通常のパターン露光とは表裏反対にレチクル51～54を装着することにより、レチクル51～54、ウェハ5等をも移動させることなく、通常のパターン露光と同一の配置でレチクル51～54の露光をデフォーカス状態で簡便に行うことができる。なお、露光量は通常の20倍の条件で露光を行う。

【0036】レチクル51～54を用いた露光により、図6に示すように、0次回折光及び1次回折光の像がウェハ5上に塗布されたフォトレジストに転写され、レジストパターン55～58を得る。0次回折光が投影された0次回折領域59ではフォトレジストが完全になくなる。1次回折光が投影された1次回折領域60ではフォトレジストの表面だけがなくなり、薄くなった膜減り状態である。図中斜線で示した領域は、光が当たらなかったためフォトレジストが残っているレジスト残存領域61である。

【0037】4種類の周期を設けたレチクル51～54により得られるレジストパターンは、その回折パターンの周期の縮小とともに1次回折領域60は0次回折領域59から遠ざかる方向に移動する。そこで、この4種類の周期のうち、瞳の形状を広範囲に観測するのに最も適当な周期のライン&スペースパターンを決定し、画像データとしてコンピュータに取り込む。

【0038】図6は図5に示したレジストパターン55のみの画像処理(図6(a)、(b)に示す)と、レジストパターン55～58を含めた画像処理(図6

(c)、(d)に示す)を示す図である。また、図6(b)及び(d)は図6(a)及び(c)に示したレジストパターン55、63に基づいて画像処理を行った後の画像データを示す図である。

【0039】0次回折領域59が光源の形状を表し、得られた像の一番外側において1次回折領域60が切られている部分は、図6(b)及び(d)に示した瞳の輪郭62の一部分を表している。一括露光領域内において、近接する位置では光学系の大きな変化がないと仮定し、図6(c)の近接しておかれた4つの向きのライン&スペースパターンの回折像を図6(d)に示すように画像データ上で合成させる。

【0040】このように画像データを合成する理由は以

下の通りである。すなわち、周期パターンは、その向きにより回折光の発生する向きが変わる。第1実施形態に示した格子状パターンでは4方向に1次回折光が発生するのに対し、本実施形態のライン&スペースパターンの場合、2方向にのみ1次回折光が発生する。従って、1つの周期パターンのみでは瞳の形状が部分的にしか測定できないため、複数の方向を持つ周期パターンによる露光により得られる回折像を合成させることにより、瞳の輪郭62がほぼ一周分得られる。このように回折像を合成することにより、瞳の形状及び光源と瞳の同心度を高精度に測定することができる。こうして得られた光源の位置と瞳の位置の比較から、露光領域内のそれぞれの位置における光学系の軸ずれ量を決定する。

【0041】なお、本実施形態に示した周期パターンの向き以外の任意の向きに回転させた周期パターンを用いても、同様の効果を奏する。このように、本実施形態によれば、第1実施形態に示した格子状パターンでは4方向に1次回折光が発生するのに対し、ライン&スペースパターンでは2方向に発生する。この場合、瞳の形状が部分的にしか測定できないが、1次回折光が分散しないで狭い領域に集中する。瞳の形状を浮き彫りにする光強度が上昇するので、格子状パターンを用いた場合より低い露光量でも、瞳の位置が測定可能である。

【0042】(第3実施形態)図7及び図8は本発明の第3実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態は、KrFエキシマレーザを光源とする露光装置(NA:0.6, σ :0.75, M:4)を用いて検査を行う場合を示す。

【0043】本実施形態では、周囲が透光領域72で、一辺 $100\mu\text{m}$ の正方形のレチクル71裏面に、図7に示す透光領域72の幅と遮光領域73の比が1:2である格子状の回折パターンを配置する。このように回折パターンの透光領域72と遮光領域73のパターン幅の比を設定する理由は、以下の通りである。すなわち、回折パターン上の遮光部と透光部のパターン幅の比率を変えることにより、0次・1次回折光の強度比を調節することができ、回折パターンの周期をp、透光部の幅をqとし、0次回折光の強度を1とすると、1次回折光の強度は $\text{sinc}^2(q/p)$ で表されることが知られている。この式から、透光部:遮光部=1:1の場合は、1次回折光は0次回折光の40%程度であることが分かる。また、遮光部の割合を増加させれば、それに応じて1次回折光の相対強度が高まることが分かる。従って、本実施形態のように透光部に対して遮光部のパターン幅を広く設定することにより、0次回折光と1次回折光の光強度の差を低減することができ、瞳の輪郭がより明確になる。すなわち、必要に応じて透光・遮光比を最適化することが可能である。

【0044】このレチクル71は、第1実施形態に示したレチクル2のパターンにおいて透光領域と遮光領域を

10

20

30

40

50

入れ替えた、全面遮光領域の中に透光領域孤立点を配置したものである。回折パターンは $2.0\mu\text{m}$ とする。レチクル71を少なくとも 5mm の間隔を置いて、一括露光領域内に複数配置する。

【0045】露光量は次のようにして決定する。まず、全面が透光領域であるレチクルを使用して、露光量を変えて露光を行う。回折パターンがないため一括露光領域全体が感光する。露光量を通常より低めに落としていくと、レジストがすべてなくなる露光量のしきい値が現れる。本実施形態の回折パターンは透光部分がほとんどで、遮光部分が非常に少ない。したがって、露光量はこのしきい値をはるかに越える量にすると、回折の効果で、パターンの影に当たる部分にも、しきい値以上の光が当たることになり、パターンが形成できない。そこで、露光量をしきい値付近にして露光すると、所望の回折パターンがウェハ上に残る。

【0046】このようにして決定した露光量で露光した後に現像を行う。得られたレジストパターンを図8に示す。第1実施形態のレジストパターンと比較して、感光部と非感光部が反転した像が得られる。光強度が弱いN A及び σ の部分のレジスト残りとなってウェハ上に表される。このレジストパターン81を光学顕微鏡で測定した。中央部82は光源の形状を表し、その周囲の周辺部83は、レジストが薄くなって残っている領域で、瞳の形状を表す。これら中央部82及び周辺部83の輪郭により得られる光源の形状及び瞳の形状から、光源と瞳の軸ずれを測定する。

【0047】このように本実施形態によれば、遮光部と透光部のパターン幅の比率を最適化することにより、0次回折光と1次回折光の強度比を最適に調整することができ、1:1のパターン幅の比率を持つ場合に生じる瞳の形状の輪郭のぼけを低減し、より高精度な検査が可能となる。

【0048】(第4実施形態)図9及び図10は本発明の第4実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態は、検査に用いるレチクルとしてハーフトーンマスクを用いるもので、またKrFエキシマレーザ(波長 248nm)を光源とする露光装置(NA:0.6, σ :0.75, M:4)を用いて検査を行う場合を示す。

【0049】図9は本実施形態の検査方法に用いるレチクル91の平面図である。図9に示すように、遮光領域92を構成する遮光膜には、強度透過率が6%で、透光部と遮光部の光の位相差が 180° となる半透明(ハーフトーン)の膜を使用する。レチクル91上に、周囲がハーフトーン領域である一辺 $100\mu\text{m}$ の正方形の透光領域と、その内部に、図9に示すような市松格子状、すなわち遮光領域92と透光領域93を互い違いに碁盤縞を並べた模様を持つハーフトーン回折パターンを描く。回折パターンの周期を $1.8\mu\text{m}$ とし、遮光領域92と

透光領域93の幅の比を7:11とした。このレチクル91を、通常のパターン露光とは表裏反対に図1に示す露光装置に装着し、フォトリソを塗布したウェハ5を、通常のパターン露光で使用する位置に配置して露光を行う。露光量は通常の約20倍とし、感光材としてポジ型のフォトリソを用いる。露光の後に現像を行い、レジストパターンを得る。

【0050】得られたレジストパターンの平面図を図10に示す。図10(a)に示すように、このレジストパターンは、ウェハ寸法で横 8mm ×縦 25mm の一括露光領域内で、像同士が重ならない間隔を置いて33点用意されており、通常の光学顕微鏡を用いて測定することができる。斜線で示した領域がフォトリソが感光せず、もとのまま残っている領域である。中央部101とこの中央部101に隣接し、その周囲の4カ所に形成された周辺部102に、二次光源の構造がある。

【0051】図10(b)は図10(a)に示すレジストパターンの構成を説明するための図である。図10(a)のパターンは、図10(b)に示した6個の円により構成されるものである。中央部101の外縁により構成される円111は0次回折光の位置と形状を表し、周辺部102の外縁は1次回折光により形成される1次回折パターン112と瞳の縁113を表す。

【0052】ハーフトーンのレチクル91を用いた本実施形態の結果は、第1～第3実施形態と異なり、0次回折光と1次回折光の強度はほぼ同じとなる。そのため、0次回折光の像がつぶれず、0次回折光と1次回折光の両方の構造が比較的鮮明に見える。すなわち、光源の内部の光強度むらと、瞳、光源の相対位置ずれを、一回の露光だけで測定することができる。

【0053】このように、遮光膜として半透明のものを使用したハーフトーンマスクを用いることにより、0次回折光の強度を1次回折光の強度以下にし、また0次回折光の強度を0にして、投影光学系の瞳のみを測定することが可能である。

【0054】次に、0次回折光と1次回折光の強度比を最適にする透光部と遮光部のパターン比の導出手法を説明する。本実施形態では、市松格子状のパターンをレチクルとして用いる場合を示したが、強度透過率及び位相差を前述の形態と同じくしたハーフトーンのライン&スペースパターンの場合を考える。ライン&スペースパターンの周期をp、透光部の幅をqとし、0次回折光の強度を1とすると、1次回折光の強度は次式で表される。なお、 $x=q/p$ を示す。

$$\text{【0055】 } 0.242 \sin(\pi x) / (-0.24 + 0.76x)$$

この式で、 $x=0.614$ とすれば、0次回折光と1次回折光の強度がほぼ等しくなり、光源と瞳が同じ強度で測定できる。格子パターン、市松格子パターンに対しても同様に、0次回折光強度と1次回折光強度がほぼ同じ

になる場合があり、その透光・遮光比を持つ回折パターンを使用することができる。

【0056】なお、市松格子パターンに上記実施形態を適用する場合は、1次回折光の位置が図11のようになるため、周期の条件が若干変わる。この場合、ウェハ上に瞳の像が形成されるための条件は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \text{【0057】 } 2^{1/2} M\lambda / \{ (1 + \sigma) \times NA \} < p < \\ & 2^{1/2} M\lambda / \{ (1 - \sigma) \times NA \} \end{aligned}$$

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。周期パターンは格子状パターン、ライン&スペースパターン、市松格子状パターン、透光部と遮光部を反転させたピラーパターン以外にも、方形ではなく円形やそれに近いコンタクトホールパターン等、透光部と遮光部が周期的に配列されたパターンであって1次回折光を生じるものであれば何でもよい。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、露光装置の検査方法として、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された周期パターンを含む光学部材を通過した1次以上の回折光が投影光学系の瞳外縁を照射することによりウェハ上に瞳外縁の像を転写させ、かつ前記ウェハ上に転写させるパターン像をデフォーカスさせて露光するので、0次回折光により光源形状を、1次以上の回折光により瞳の形状を観測することができ、かつこれら光源及び瞳の形状の双方を一回の露光で露光装置を分解することなく通常の露光時と同じ状態で簡便に測定することができる。また、瞳形状と光源形状はフォトレジストに重ねて描画されるので、それらのずれによる同心度の測定も合わせずれによる誤差が生じない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る検査対象とする露光装置の全体構成を示す図。

【図2】同実施形態における露光装置の検査方法に用いられるレチクルの全体構成を示す図。

【図3】同実施形態におけるレチクルにより転写されたパターンの平面図。

【図4】同実施形態における回折パターンの周期が限定される理由を説明するための図。

【図5】本発明の第2実施形態に係る露光装置の検査方法に用いられるレチクルの全体構成を示す図。

【図6】同実施形態におけるレチクルと転写パターンを示す図。

【図7】本発明の第3実施形態に係る露光装置の検査方法に用いられるレチクルの全体構成を示す図。

【図8】同実施形態におけるレチクルにより転写されたパターンの平面図。

【図9】本発明の第4実施形態に係る露光装置の検査方法に用いられるレチクルの全体構成を示す図。

【図10】同実施形態におけるレチクルにより転写されたパターンの平面図。

【図11】本発明の対象とする露光装置の動作を示す図。

【図12】従来の露光装置の検査方法を説明するための図。

【符号の説明】

1…照明光学系

2, 51~54, 71, 91…レチクル

3…投影光学系

4…瞳

5…ウェハ

21, 51a~54a, 73, 92…遮光領域

22, 51b~54b, 72, 93…透光領域

31, 55~58, 63…レジストパターン

32, 82, 101…中央部

33…輪郭

34, 83, 102…周辺部

35, 113…瞳の縁

30 41…瞳の大きさ

42…回折光の半径

43…回折光間の距離

44, 112…1次回折パターン

59…0次回折領域

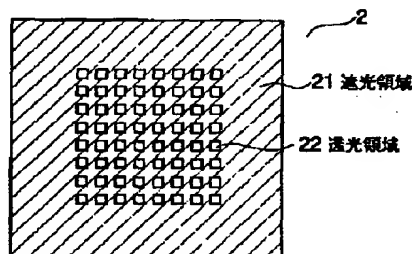
60…1次回折領域

61…レジスト残存領域

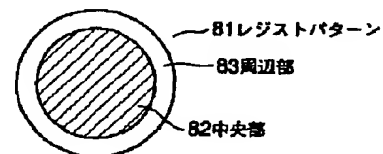
62…瞳の輪郭

111…円

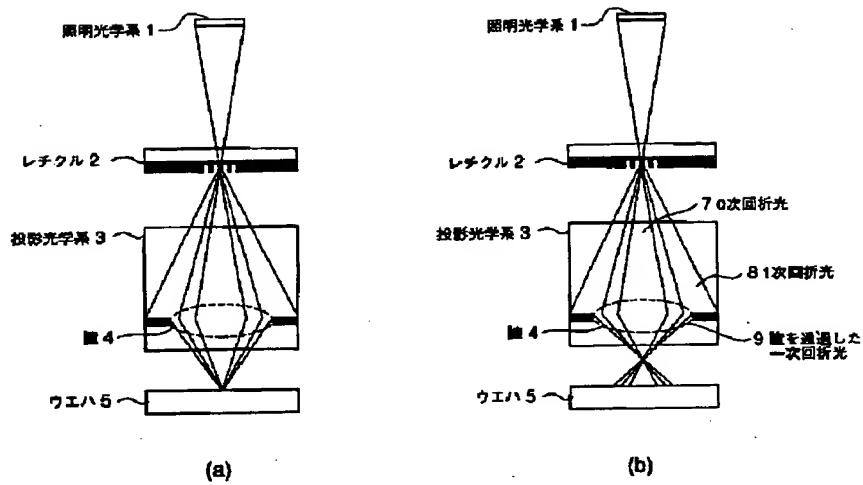
【図2】



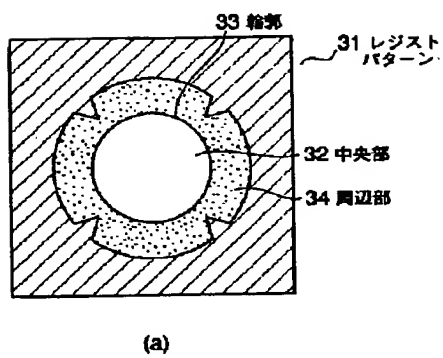
【図8】



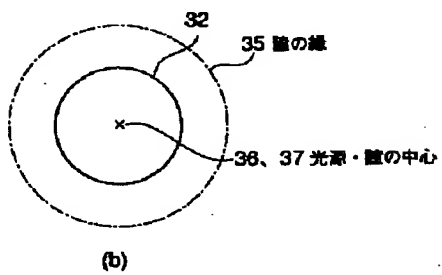
【図1】



【図3】

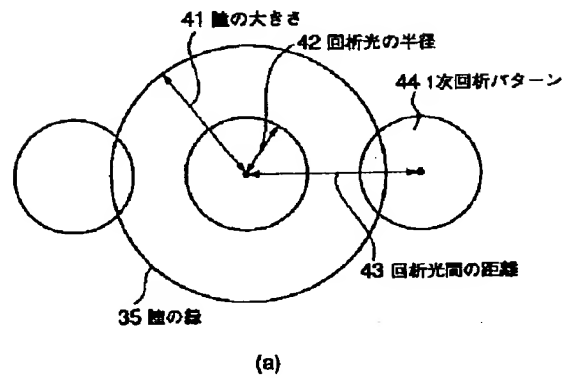


(a)

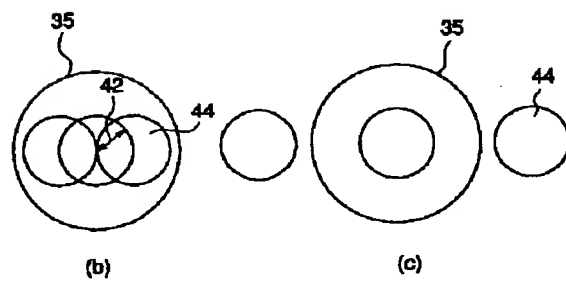


(b)

【図4】



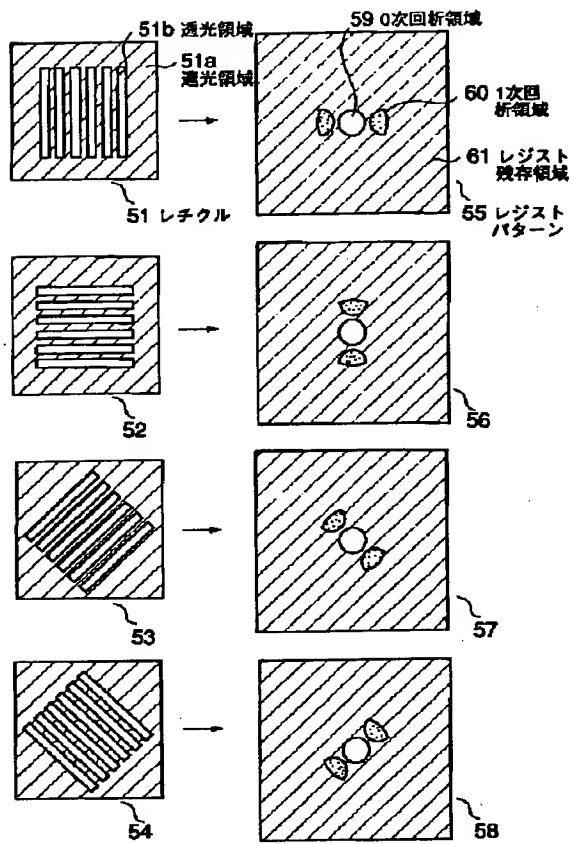
(a)



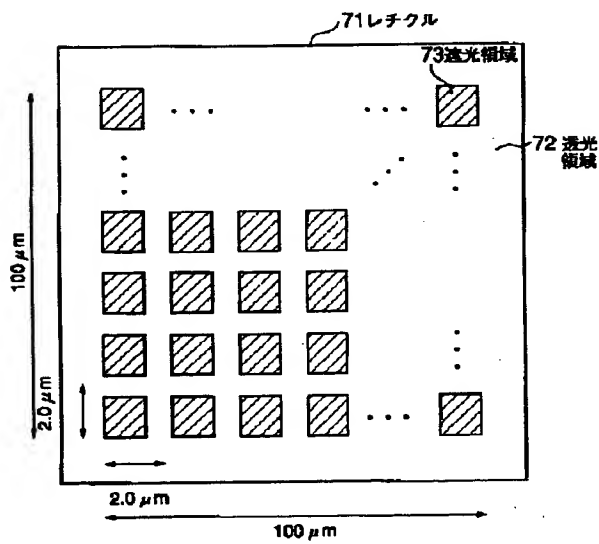
(b)

(c)

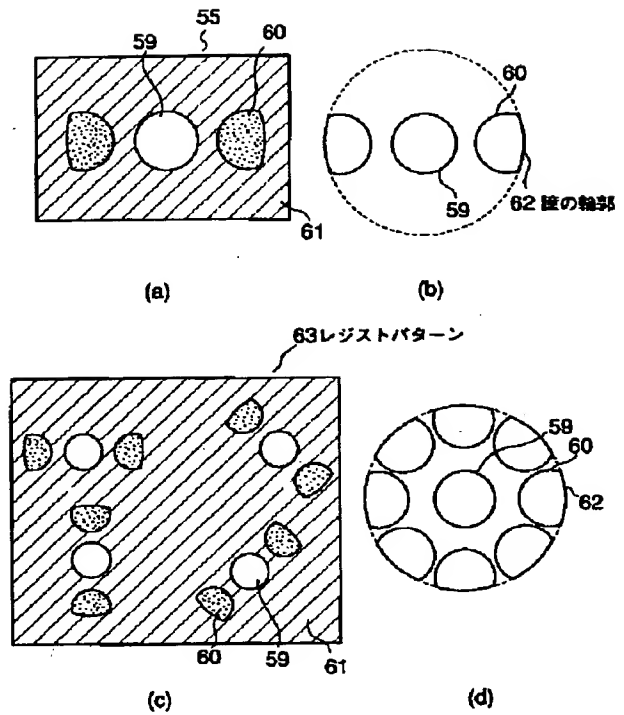
【図5】



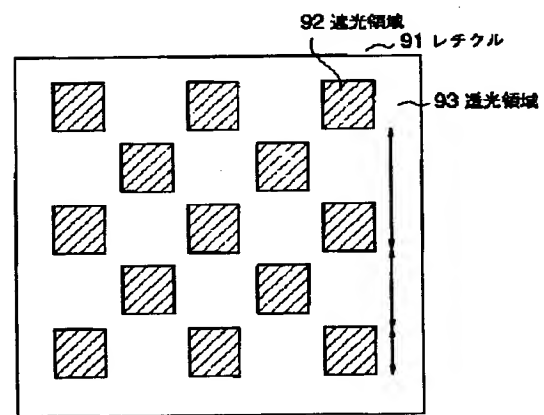
【図7】



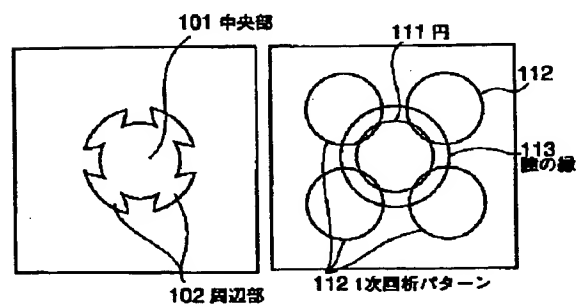
【図6】



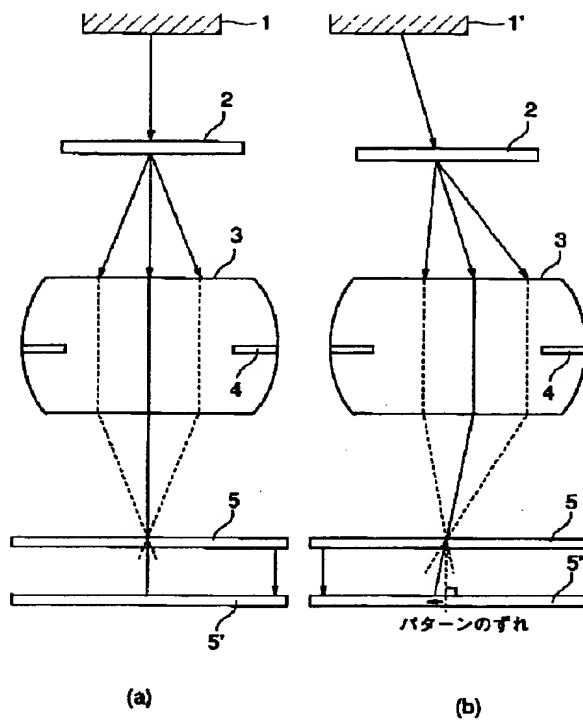
【図9】



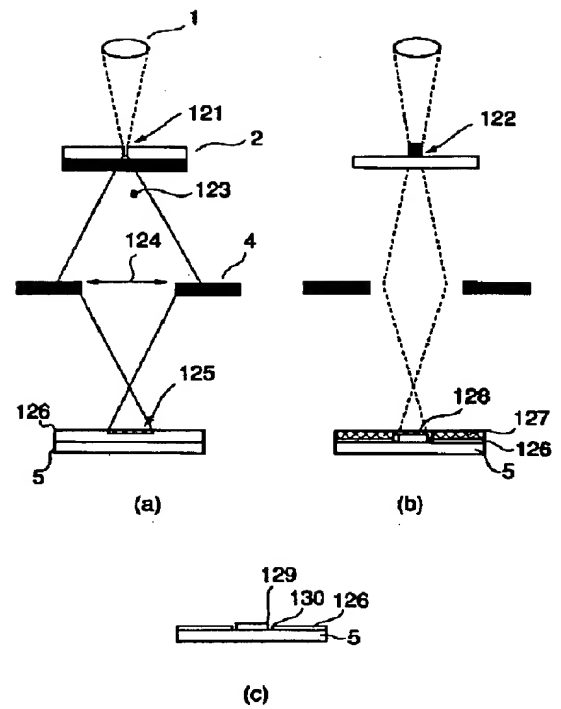
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 藤澤 忠仁
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 井上 壮一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

Fターム(参考) 5F046 AA28 CA04 CB22 CB25 DA12